

О Т З Ы В

официального оппонента Лебедева В.Я.

на диссертационную работу Малеронка Владимира Владимировича
«Технология упрочнения осевого режущего инструмента из быстрорежущей
стали магнитно-импульсной обработкой», представленной на соискание
ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.02.07 – Технология и оборудование механической и
физико-технической обработки

1. Соответствие диссертации специальностям и отрасли науки, по которым она представлена к защите

Диссертационная работа Малеронка В.В. «Технология упрочнения осевого режущего инструмента из быстрорежущей стали магнитно-импульсной обработкой» посвящена вопросам повышения ресурса и качества осевого режущего инструмента, имеющего переменный профиль рабочей части. Работа направлена на создание технологии упрочнения осевого режущего инструмента обработкой импульсным магнитным полем и методики оценки свойств материала инструмента в результате структурно-фазовых превращений при магнитно-импульсной обработке (МИО).

Содержание диссертации соответствует технической отрасли науки. Область исследований соответствует паспорту специальности 05.02.07 – технология и оборудование механической и физико-технической обработки, по пунктам 1,3,5.

2. Актуальность темы диссертации

Обеспечение и повышение качества используемого режущего инструмента, является острой проблемой практически в любой отрасли. В современных условиях использование осевого режущего инструмента отечественного и импортного производства не в полной мере обеспечивают требования производства, и остро стоит вопрос повышения его стойкости без значительного удорожания самого инструмента. Поиск технических решений, направленных на решение указанной проблемы, снижение затрат и интенсификацию процесса направленной модификации поверхности режущего инструмента с применением высокоэнергетических методов воздействия, является актуальной задачей. В работе вскрыты механизмы взаимодействия электромагнитного поля с материалом заготовки, формирующие напряженное состояние и структурно-фазовые превращения в изделии при таком воздействии и разработаны методики оценки свойств материала инструмента в результате структурно-фазовых превращений при магнитно-импульсной обработке.

В качестве объекта исследования выбран осевой режущий инструмент из быстрорежущей стали, как широко применяемый в различных областях техники вид лезвийного инструмента.

Магнитно-импульсная обработка представляется конкурентоспособным методом упрочнения в сравнении с традиционными

методами упрочнения, так как характеризуется высокой скоростью обработки изделия, отсутствием расходных материалов, экологической чистотой.

Работа представляет научный и практический интерес для разработки технологий упрочнения осевого режущего инструмента из быстрорежущей стали магнитно-импульсной обработкой и оценки влияния параметров процесса МИО на свойства инструментального материала в результате структурно-фазовых превращений. Актуальность исследования не вызывает сомнений.

3. Степень новизны результатов, полученных в диссертации, и научных положений, выносимых на защиту

Диссертационная работа Малеронка В.В. основана на анализе имеющихся результатов технологий магнитно-импульсного упрочнения деталей и инструмента и создании способа их совершенствования применительно к осевому режущему инструменту из быстрорежущей стали. Полученные в работе теоретические и экспериментальные зависимости позволили сформулировать положения, выносимые на защиту.

Научная новизна результатов исследований, представленных в диссертационной работе, заключается в следующем:

- предложена математическая модель преобразования энергии индукционного тока в тепловую в осевом режущем инструменте при МИО, устанавливающая взаимосвязь формы, размера режущего инструмента и процесса теплопередачи в нем, температуры нагрева упрочняемого слоя в зависимости от режима обработки (энергия импульса, варианта загрузки инструмента);
- моделированием технологических циклов МИО при итерационном способе упрочнения с учетом распределения напряженности и давления магнитного поля в индукторе, установлено распределение плотности вихревых индукционных токов и температуры в режущем инструменте с переменным поперечным сечением и показано, что наибольшее значение они имеют на поверхности стружкоотводящей канавки;
- установлена корреляционная зависимость между значением полного электрического сопротивления поверхностного слоя и процессами образования мелкоигльчатой мартенситной структуры с уменьшением количества остаточного аустенита и ростом микронапряжений в результате МИО, что позволило разработать способ качественной оценки структуры упрочненных слоев режущего инструмента по изменению их электрофизических свойств, основанный на пропускании тока высокой частоты с образованием скин-слоя и оценке изменения электрического сопротивления упрочненного слоя.

Полученные Малеронком В.В. результаты имеют высокую научную значимость, вносят существенный вклад в развитие технологических основ магнитно-импульсного упрочнения режущего инструмента со сложной формой рабочей части.

4. Обоснованность и достоверность выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Основные положения и выводы, изложенные в диссертационной работе, обоснованы и достоверны, получены с применением современных методов исследований и программного обеспечения. Эксперименты проводились по апробированным методикам с использованием современных средств измерений. Теоретические исследования базируются на известных научных положениях теории электромагнетизма, технологии машиностроения и согласуются с базовыми положениями теории резания.

Выводы и рекомендации, сделанные в работе, представляются аргументированными и вытекающими из содержания работы.

5. Научная, практическая, экономическая и социальная значимость результатов диссертации с указанием рекомендаций по их использованию

Научная значимость диссертационной работы Малеронка В.В. заключается в создании математической модели расчета температуры инструмента во время упрочнения, имитационной модели процесса МИО, методики оценки результатов МИО, позволяющие определять оптимальные параметры (энергию импульса, вариант загрузки инструмента, количество циклов МИО) для проведения магнитно-импульсной обработки осевого режущего инструмента с целью его упрочнения.

Практическая значимость заключается в том, что создан и реализован процесс МИО осевого режущего инструмента, подтверждены положительные результаты МИО при эксплуатации упрочненного инструмента, которые могут быть использованы при упрочнении подобного типа инструментов. На уровне изобретения (BY 23060, RU 2734061) предложен новый способ диагностики результатов упрочнения, основанный на пропускании тока высокой частоты с образованием скин-слоя и оценкой изменения электрического сопротивления упрочненного слоя, что позволяет исследовать электрофизические свойства упрочненного слоя инструмента без использования дорогостоящего оборудования с сокращением времени на сам процесс диагностирования. Результаты МИО инструмент из быстрорежущей стали подтверждены изменением структурно-фазового состава, микротвердости, макро- и микронапряжений поверхностных слоев, влияющих на эксплуатационные свойства режущего инструмента, что обеспечило повышение технологической стойкости концевых фрез до 2,3 раза, а сверл в 1,8 раза. Это позволяет говорить о перспективах дальнейшего использования МИО и в других производствах.

Экономическая значимость заключается в сокращении количества инструмента и его переточек после проведения МИО, что позволило на ОАО «БААЗ» получить экономический эффект в сумме 3 141 рубль в год (акт внедрения в производство упрочненных МИО сверл из быстрорежущей стали Р6М5).

Социальная значимость работы состоит в возможности использования представленных в ней зависимостей (моделей) и методик в образовательном процессе – при чтении спецкурсов по техническим методам обеспечения надежности деталей машин, моделированием и расчетом параметров технологических процессов. Актуальна работа в повышении качества образовательного и исследовательского процессов высших учебных заведений (акт внедрения результатов НИР в учебный процесс № 21/006; акт о внедрении способа определения полного электрического сопротивления упрочненного слоя изделий из токопроводящего материала в виде макета лабораторной установки № 582).

6. Опубликованность результатов диссертации в научной печати

Материалы диссертационного исследования Малеронка В.В., основные положения и выводы, полученные соискателем самостоятельно и при его непосредственном участии в соавторстве достаточно полно изложены в публикациях. По теме диссертации опубликовано 24 научные работы, в том числе 10 публикаций в рецензируемых периодических изданиях; 2 главы в коллективных монографиях; 3 статьи в научных журналах иностранных государств; 7 статей в материалах конференций и конкурсов; 2 патента на изобретение.

Результаты работы докладывались на ряде международных научно-технических конференциях и использовались при участии в различных конкурсах в РБ и РФ.

7. Соответствие оформления диссертации требованиям ВАК

Диссертационная работа и автореферат оформлены в соответствии с действующими требованиями ВАК. Материал представлен в логической последовательности и взаимосвязи с использованием современных компьютерных технологий. Автореферат соответствует содержанию диссертационной работы и основным положениям, выносимым на защиту.

8. Соответствие научной квалификации соискателя ученой степени, на которую он претендует

Представленная к защите диссертационная работа является законченным научным исследованием и выполнена соискателем самостоятельно. Приведенные теоретические и экспериментальные исследования выполнены на высоком научном и техническом уровне. Полученные результаты и положения показывают соответствие научной квалификации соискателя Малеронка В. В. ученой степени кандидата технических наук.

9. Замечания по диссертационной работе

1. Результаты обзора и анализа способов упрочнения режущего инструмента следовало представить в сводной таблице, что позволило бы более точно выделить конкурентные преимущества МИО.

2. В главе 3 получена математическая модель для расчета температуры во время МИО и выполнен расчет температуры для сверл определенного диапазона диаметров. Следовало бы уточнить, является ли модель универсальной и пригодной для других видов инструмента подобной формы (зенкеров, разверток и т.д.). При имитационном моделировании процесса МИО получены численные значения температуры для определенных типоразмеров инструмента, а интерпретации полученных результатов для других диапазонов размеров сверл не дано.

3. При испытании работоспособности сверл после МИО наряду с радиусом округления режущей кромки лезвия принят достаточно информативный критерий косвенной оценки – температура нагрева сверла при сверлении. Оценка упрочненных сверл по ГОСТ 2034 по периоду стойкости позволила бы более полно оценить эффективность МИО, наряду с результатами, полученными автором при производственных испытаниях.

4. При анализе способов упрочнения режущего инструмента и результатов производственных испытаний было бы целесообразно усилить вопросы экономической эффективности применения МИО для различных видов инструментов.

Отмеченные недостатки не затрагивают основные научные положения, выводы и результаты, выносимые на защиту и не влияют на положительную оценку работы в целом и соответствие соискателя искомой научной степени кандидата технических наук.

10. Заключение по диссертационной работе

Диссертационная работа Малеронка Владимира Владимировича «Технология упрочнения осевого режущего инструмента из быстрорежущей стали магнитно-импульсной обработкой», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.07 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки», соответствует требованиям пунктов 19, 20 «Положения о присуждении ученых степеней и присвоения ученых званий в Республике Беларусь».

Диссертация выполнена на актуальную тему, представляет собой законченную научную работу и содержит новые, научно обоснованные теоретические и экспериментальные данные, имеющие существенное значение для повышения эффективности промышленного производства и теоретических исследований процессов механической обработки материалов.

Соискатель Малеронк В.В. заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.07 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки» за совокупность новых научно обоснованных,

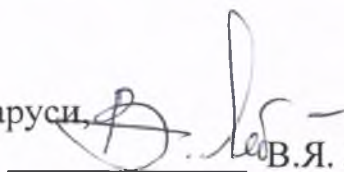
экспериментальных и теоретических результатов по развитию технологии магнитно-импульсной обработки режущего инструмента:

– разработку математической модели расчета температуры нагрева режущего инструмента при МИО, учитывающую форму, размер режущего инструмента и процесс теплопередачи в нем и построение имитационной модели процесса МИО осевого режущего инструмента, основывающуюся на учете распределения напряженности магнитного поля внутри индуктора и температуры по поперечному сечению рабочей части инструмента, позволившую задавать степень загрузки инструмента в индуктор в зависимости от вида инструмента;

– определение эффективных режимов магнитно-импульсной обработки для энергий 4-10 кДж, за счет предложенного способа исследования электрофизических свойств упрочненного слоя инструмента, учитывающего корреляционную связь электрического сопротивления и структурно-фазовых изменений в поверхностном слое;

– разработку технологии упрочнения осевого режущего инструмента из быстрорежущей стали магнитно-импульсной обработкой, позволившей получить мелкодисперсную мартенситную структуру стали, увеличение микротвердости и снижение количества остаточного аустенита, что обеспечило повышение технологической стойкости спиральных сверл в 1,8 раза, концевых фрез в среднем до 2,3 раза.

Ведущий научный сотрудник лаборатории
физики поверхностных явлений ФТИ НАН Беларуси,
кандидат технических наук, доцент


В.Я. Лебедев

Югоринья Лебедева З.А.

удостоверено:

Зав. отделом к.и.п.р.



З.А. Лебедева

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Малеронка Владимира Владимировича «Технология упрочнения осевого режущего инструмента из быстрорежущей стали магнитно-импульсной обработкой», представляемую на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.07 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки».

Соответствие содержания диссертации заявленной специальности и отрасли науки

Диссертационная работа Малеронка В.В. посвящена разработке технологии упрочнения осевого режущего инструмента из быстрорежущей стали магнитно-импульсной обработкой (МИО). Выполнены математическое и имитационное моделирование процесса МИО, а также разработан и применен способ качественного контроля происходящих изменений в структуре материала инструмента при МИО, позволившие выбрать технологические параметры для проведения упрочнения. Определены происходящие структурно-фазовые превращения при воздействии МИО, приводящие к повышению стойкости инструмента. Анализ содержания диссертации, основных ее научных результатов и вынесенных на защиту положений показал, что они соответствуют паспорту специальности 05.02.07 – технология и оборудование механической и физико-технической обработки, а именно, пунктам 1, 3, 5 раздела III «Области исследований».

Актуальность темы диссертации

В диссертационной работе Малеронка В.В. рассмотрена проблема повышения качества и эксплуатационных свойств осевого режущего инструмента из быстрорежущих сталей (и их аналогов), которые зачастую не соответствуют требованиям современного металлообрабатывающего производства. При этом такой осевой режущий инструмент характеризуется быстрым износом режущих кромок с последующим выкрашиванием и разрушением, особенно при действии ударных нагрузок, и имеет ограниченное количество переточек.

В связи с этим важной задачей является повышение эксплуатационных показателей и надежности всей номенклатуры режущего инструмента на

стадии производства, либо финишная обработка готовых изделий перед эксплуатацией с целью повышения их прочности и стойкости.

В работе Малеронка В.В. показано, что для решения таких задач весьма эффективно использование одного из перспективных методов упрочняющей обработки готовых изделий – магнитно-импульсной обработкой, которая по сравнению с другими методами обладает рядом преимуществ: более низкая себестоимость обработки, сохранение геометрии обработанных изделий, отсутствие расходных материалов и технологических, часто агрессивных сред, простота технологической оснастки и экологическая чистота процесса.

Актуальность работы обусловлена тем, что воздействие МИО недостаточно изучено в части упрочнения инструмента, мало исследованы механизмы, приводящие к упрочнению, в частности, осевого режущего инструмента из быстрорежущей стали, где распределение индукционных токов и температуры по переменному сечению инструмента во время МИО отличается от инструмента цилиндрической и плоской формы. Потому большинство режимов упрочнения носит экспериментальный характер и для успешного применения МИО требуется проведение научных и технологических исследований.

Научные исследования по теме диссертации проводились в соответствии с темами научно-исследовательских работ, выполненными в рамках заданий двух государственных программ научных исследований. Тема диссертационной работы соответствует пункту перечня тем из раздела 4 (металлургические технологии) «Приоритетных направлений научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2021–2025 годы», утвержденных Указом Президента Республики Беларусь от 7 мая 2021 г. №156.

Учитывая вышеизложенное, актуальность темы диссертационной работы не вызывает сомнений.

Степень новизны результатов, полученных в диссертации, и научных положений, выносимых на защиту

Результаты, полученные Малеронком В.В. и представленные в диссертационной работе, содержат элементы научной новизны, которые по своей значимости и обоснованности соответствуют уровню кандидатской диссертации. Новизна результатов исследований и научных положений заключается в следующем:

1. Предложена математическая модель преобразования энергии индукционного тока в тепловую в осевом режущем инструменте при магнитно-импульсной обработке, устанавливающая взаимосвязь формы, размера режущего инструмента и процесса теплопередачи в нем, температуры нагрева упрочняемого слоя в зависимости от режима обработки (энергия импульса, варианта загрузки инструмента).

2. В результате имитационного моделирования технологических циклов МИО при итерационном способе упрочнения, учитывающего распределение напряженности и давления магнитного поля в индукторе, вихревых индукционных токов и температуры в режущем инструменте с переменным поперечным сечением, установлено, что плотность вихревых индукционных токов и температура имеет большее значение на поверхности сердцевины инструмента (канавка), имеющей более простую геометрическую форму в отличие от режущей кромки и ленточки.

3. Установлена корреляционная зависимость между значением полного электрического сопротивления и процессами образования мелкоигольчатой мартенситной структуры, уменьшением количества остаточного аустенита и роста микронапряжений в упрочненном слое режущего инструмента после МИО, что позволило разработать способ для качественной оценки изменений электрофизических свойств и структуры упрочненных слоев режущего инструмента, основанный на пропускании тока высокой частоты с образованием скин-слоя и оценкой изменения электрического сопротивления (падения напряжения) упрочненного слоя.

Обоснованность и достоверность выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Обоснованность и достоверность выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, обуславливаются достаточно полным анализом состояния исследуемой проблемы по литературным данным отечественных и зарубежных авторов, согласованностью выводов между собой. В диссертации применялись современные методы анализа: оптическая и сканирующая электронная микроскопия, рентгенофазный и рентгеноструктурный анализ и др., а также разработан и применен новый способ исследований электрофизических свойств материала упрочненного слоя после проведения МИО. Применение взаимодополняющих методов исследований обеспечивает достоверность выводов. Признанием обоснованности основных положений диссертации являются публикации в научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ, журналах иностранных государств, успешная апробация работы на международных конференциях, актами внедрения результатов научных исследований и актами практических испытаний, патентами на изобретение (РБ, РФ).

Выдвинутые на защиту положения аргументированы и подтверждены результатами диссертационной работы.

Научная, практическая, экономическая и социальная значимость результатов диссертации с указанием рекомендаций по их использованию

Научная значимость результатов диссертации заключается в получении прироста знаний в области магнитно-импульсной обработки осевого режущего инструмента из быстрорежущей стали и заключается в следующем:

1. Получена математическая модель распределения температуры в осевом режущем инструменте при магнитно-импульсной обработке, учитывающая форму, размер режущего инструмента и процесс теплопередачи в нем, позволившая рассчитать локальную температуру нагрева режущего инструмента в зависимости от режима обработки (количества энергии, варианта загрузки инструмента), необходимую для структурно-фазовых превращений в упрочняемом слое.

2. В результате имитационного моделирования процесса магнитно-импульсной обработки осевого режущего инструмента при итерационном способе упрочнения, учитывающего распределение напряженности и давления магнитного поля в индукторе, вихревых индукционных токов и температуры в осевом режущем инструменте с переменным поперечным сечением, выбран вариант загрузки в индуктор инструмента (полная или половинная) в зависимости от его типа (с боковыми или торцевыми режущими кромками).

3. По результатам теоретических и экспериментальных исследований влияния технологических параметров, таких как энергия импульса (4-10 кДж) и количество циклов (1-15) магнитно-импульсной обработки на структурно-фазовые превращения, микронапряжения в упрочняемом слое осевого режущего инструмента из быстрорежущей стали и его полное электрическое сопротивление, выбраны эффективные параметры технологических режимов магнитно-импульсной обработки (энергия импульса и количество циклов): для энергии 4 кДж в количестве 9-13 циклов МИО; 6 кДж – 8-11 циклов МИО; 8 кДж – 7-10 циклов МИО; 10 кДж – 5-8 циклов МИО, которые обеспечивают упрочнение поверхностного слоя инструмента, при этом предотвращают избыточный расход электроэнергии и экономят ресурс индуктора.

4. Результаты экспериментальных исследований воздействия магнитно-импульсной обработки на структурно-фазовый состав, твердость и микротвердость, макро- и микронапряжения упрочненных слоев осевого режущего инструмента из быстрорежущей стали, влияющих на комплекс эксплуатационных свойств осевого режущего инструмента, позволившие обеспечить повышение технологической стойкости осевых концевых фрез в среднем в 2,3 раза, а осевых металлорежущих сверл в 1,8 раза.

Практическая значимость проведенных исследований заключается в определении технологических параметров (энергия импульса и количество циклов, вариант загрузки инструмента) в зависимости от вида инструмента из быстрорежущей стали и технических характеристик установок для МИО, которые

позволяют выбирать режимы МИО осевого режущего инструмента различного назначения.

Результаты промышленных испытаний осевого режущего инструмента из быстрорежущей стали, упрочненного по разработанной технологии, показали увеличение стойкости (до первой перезаточки) упрочненных дереворежущих осевых концевых фрез в УО «БГТУ» на операции фрезерования углублений в заготовках из материала ДСП в среднем в 2,3 раза (акт опытно-промышленных испытаний фрез из быстрорежущей стали), а осевых металлорежущих сверл в ОАО «БААЗ» в процессе сверления отверстий в материале (сталь 30Х) в 1,8 раза (акт о результатах испытаний осевых металлорежущих сверл из стали Р6М5, упрочненных магнитно-импульсной обработкой).

Получено два патента на способ исследования электрофизических свойств и структуры упрочненных слоев (BY 23060, RU 2734061), который используется в учебном процессе в УО «БарГУ» (акт внедрения результатов НИР в учебный процесс № 21/006); и в НИЛ ВФ в УО «БГАА» при проведении научно-исследовательских работ, диссертационных исследований, организации учебного процесса (акт о внедрении способа в виде макета лабораторной установки № 582).

Таким образом, разработанная технология может быть рекомендована к использованию на предприятиях машиностроительной и деревообрабатывающей отраслей промышленности с целью повышения стойкостных показателей осевого режущего инструмента.

Социальная значимость диссертационной работы состоит в том, что разработанная технология упрочнения осевого режущего инструмента из быстрорежущей стали магнитно-импульсной обработкой, отличается экологической чистотой и относительной безопасностью жизни и здоровья оператора, которые в свою очередь имеют высокую социальную значимость.

Экономическая значимость результатов диссертационной работы заключается в том, что внедрение разработанной технологии на предприятии ОАО «БААЗ» на операции упрочняющей обработки металлорежущих сверл различных диаметров позволило получить экономический эффект в сумме 3 141 рубль в год (акт внедрения в производство осевых металлорежущих сверл из быстрорежущей стали Р6М5, упрочненных магнитно-импульсной обработкой).

Опубликованность результатов диссертации в научной печати

По материалам диссертации опубликовано 24 научные работы, в том числе 10 публикаций в изданиях, входящих в перечень ВАК; 2 главы в коллективных монографиях; 3 статьи в научных журналах иностранных государств (1 – Варшава, Польша; 1 – Пермь, РФ; 1 – Ачинск, РФ); 7 статей в материалах конференций и конкурсов (в том числе 1 – сборник трудов по материалам конкурса г. Уфа, РФ); 2 патента на изобретение (РФ, РБ), что

свидетельствует о полноте публикаций основных результатов диссертации в научной печати.

Соответствие оформления диссертации требованиям ВАК Беларуси

Оформление диссертация отвечает требованиям инструкции ВАК о порядке оформления диссертации № 3 (с изменениями и дополнениями от 22 августа 2022 г. № 5). Автореферат в достаточной степени отражает основное содержание диссертации.

Соответствие научной квалификации соискателя ученой степени, на которую он претендует

Анализ содержания диссертации, представленных в ней выводов и рекомендаций, а также основных публикаций соискателя по теме диссертации позволяет заключить, что диссертационная работа представляет собой самостоятельную законченную научно-исследовательскую работу, а научная квалификация соискателя соответствует ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.07 – технология и оборудование механической и физико-технической обработки.

Замечания по диссертации

Считаю необходимым отметить следующие замечания по диссертационной работе:

1. Автором неоднократно указывается о влиянии на комплекс эксплуатационных свойств осевого режущего инструмента поверхностной пластической деформации, вызванной воздействием магнитно-импульсной обработки. Однако никаких исследований степени, скорости, интенсивности, режимов и др. характеристик деформирования в диссертационной работе не представлено;

2. Для более полного понимания технологических возможностей процесса магнитно-импульсной обработки следовало бы провести исследования влияния величины напряженности магнитного поля и температуры на химический состав поверхностного слоя;

3. Результаты распределения температуры по переменному профилю рабочей части инструмента в процессе МИО получены в ходе имитационного моделирования. Для подтверждения теоретических результатов целесообразно провести их экспериментальную проверку;

4. Для проведения исследований в диссертации выбор осевого режущего инструмента представлен только сверлами и фрезами, хотя номенклатура включает и другие виды режущего инструмента (метчики, развертка и т.д.). Так и выбор материала ограничен только сталями Р6М5 и Х6ВМФ;

5. В результате исследований следовало бы установить математическую зависимость между размерами инструмента и технологическими режимами МИО и произвести их оптимизацию;

6. Утверждение, высказанное автором в выводах по 4 главе, стр. 105 «...при уменьшении размера структурного элемента (на примере зерна) от 0,2 нм до 0,01 нм, электросопротивление изменяется от 0,1883 Ом до 17,5 кОм соответственно.» выглядит бездоказательно и может быть ограниченно применимо для монокристаллов, и только в качестве гипотезы;

7. При анализе экономической целесообразности использования МИО для повышения стойкости режущего инструмента не учитывались достаточно высокая стоимость и малый ресурс индукторов;

8. Имеются отдельные опечатки, стилистически несогласованные предложения, пропущены знаки препинания, в отдельных уравнениях расшифрованы не все входящие в них величины.

Однако сделанные замечания не касаются положений, выносимых на защиту, и не снижают общую положительную оценку работы.

Заключение

Диссертационная работа Малеронка Владимира Владимировича «Технология упрочнения осевого режущего инструмента из быстрорежущей стали магнитно-импульсной обработкой», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.07 – технология и оборудование механической и физико-технической обработки является законченной квалификационной научной работой, самостоятельно подготовленной соискателем, которая по уровню научной новизны, практической значимости соответствует требованиям п.п. 20-22 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий ВАК Республики Беларусь, предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.07 – технология и оборудование механической и физико-технической обработки», а ее автору может быть присуждена ученая степень *за новые теоретические и экспериментальные результаты*, направленные на разработку технологий упрочнения осевого режущего инструмента из быстрорежущей стали магнитно-импульсной обработкой, включающие:

1. Численный расчет по разработанной математической модели распределения температуры в осевом режущем инструменте при МИО, учитывающей взаимосвязь формы, размера режущего инструмента и процесса теплопередачи в нем, температуры нагрева упрочняемого слоя, который позволили установить для диаметров инструмента 8-12 мм, что 1 цикл МИО обеспечивает увеличение температуры инструмента на 160-200 °С, а при половинной загрузке на 90-125 °С, что достаточно для начала процесса релаксаций напряжений в материале упрочненного слоя, а при повторных циклах МИО

приведет к повышению температуры для начала структурно-фазовых превращений.

2. Результаты имитационного моделирования технологических циклов МИО позволившие установить величину напряженности магнитного поля на поверхности инструмента ($H=1,24-1,43 \cdot 10^7$ А/м) обеспечивающую давление $p \approx 72-130$ МПа, что является достаточным условием, для начала движения незаблокированных дислокаций и микропластической деформации упрочняемого слоя, уровень напряженности и давления магнитного поля на боковой поверхности ($H_{бок}=1,43 \cdot 10^7$ А/м; $p_{бок} \approx 130$ МПа) и сердцевине сверла ($H_{кан}=1,24 \cdot 10^7$ А/м; $p_{кан} \approx 72$ МПа). Установлено, что на плотность индукционных токов влияет степень загрузки сверла в индуктор ($J_{полн}=1,59 \cdot 10^9$ А/м²; $J_{центр}=1,39 \cdot 10^9$ А/м²), что позволило выбрать вариант оптимальной загрузки инструмента.

3. Теоретические и экспериментальные исследования влияния технологических режимов магнитно-импульсной обработки (энергия импульса и количество циклов) на структурно-фазовые превращения, микронапряжения и полное электрическое сопротивление упрочняемого слоя осевого режущего инструмента из быстрорежущей стали, устанавливающие корреляционную зависимость между значением полного электрического сопротивления и происходящими изменениями структуры упрочненного слоя, что позволило разработать способ для качественной оценки изменений электрофизических свойств и структуры упрочненных слоев режущего инструмента, основанный на пропускании тока высокой частоты с образованием скин-слоя и оценкой изменения электрического сопротивления упрочненного слоя, позволивший установить необходимое количество циклов МИО для энергий 4-10 кДж, в которых происходит интенсивный прирост электрического сопротивления, связанный с мартенситным ($\gamma \rightarrow \alpha$) превращением, измельчением структурных элементов и ростом величины микронапряжений в упрочненном слое.

4. Результаты экспериментальных исследований по оптимизации режимов МИО (энергия импульса и количество циклов) на структурно-фазовый состав, твердость и микротвердость, макро- и микронапряжения упрочненных слоев осевого режущего инструмента из сталей Р6М5 и Х6ВМФ, которые позволили установить, что повышение стойкости осевых концевых фрез в среднем в 2...3 раза, а осевых металлорежущих сверл в 1,8 раза объясняется образованием однородной мелкоигльчатой мартенситной структуры с размером игл 1,52...2,75 мкм без изменения типа мартенсита на глубину до 15 мкм; увеличением микротвердости упрочненного слоя сверл на глубину до 110 мкм на 14-23 %; уменьшением количества остаточного аустенита без изменения карбидных фаз на 2-15 %; созданием сжимающих напряжений $\sigma = -700 \dots -1500$ МПа в поверхностном слое инструмента, приводящих к увеличению сопротивления зарождения и распространения микротрещин при трении и циклическом нагружении,

что в совокупности позволило разработать технологические режимы упрочнения осевого режущего инструмента из быстрорежущей стали магнитно-импульсной обработкой.

Заведующий кафедрой «Машины и технология обработки металлов давлением» им. С.И.Губкина Белорусского национального технического университета, доктор технических наук, профессор



В.А.Томило

Подпись удостоверяю

